

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP99102625

091673687

#7 Priority Paper  
R. Wehrn  
5181

PRIORITY  
DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 02 JUL 1999

WIPO PCT

Bescheinigung

ESU

Die GSG Elektronik GmbH in Rosenheim/Deutschland und die Physik-Instrumente GmbH & Co KG in Waldbronn/Deutschland haben eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von  
Piezotranslаторen"

am 23. April 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole H 02 N und G 05 D der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 20. Mai 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

*Seiler*

Seiler

Zeichen: 198 18 273.2

# MEISSNER, BOLTE & PARTNER

Anwaltssozietät GbR

Postfach 860624

81633 München

GSG Elektronik GmbH  
Gießereistraße 12  
83022 Rosenheim

23. April 1998  
M/GSG-011-DE  
MB/KR/kh

Physik-Instrumente GmbH & Co. KG  
Polytec-Platz 5 - 7  
76337 Waldbronn

---

## Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von Piezotranslatoressen

---

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von Piezotranslatoressen mit Energierückgewinnung durch magnetische Zwischenspeicher gemäß Oberbegriff des 5 Patentanspruchs 1 sowie einen Regelkreis zum Betreiben eines Piezotranslators.

Piezotranslatoressen sind elektrisch steuerbare Stellelemente, deren Funktionen auf den piezoelektrischen Effekt zurückzuführen sind. Aktive Sensoren, sogenannte Aktuatoren, können feinste Stellbewegungen vom Subnanometer- bis in den Millimeterbereich hinein mit hoher Genauigkeit ausführen.

15 Piezotranslatoressen stellen in elektrischer Hinsicht einen Kondensator dar, dessen Ladungsinhalt in einem proportionalen Verhältnis zu seiner Ausdehnung steht. Demnach können Piezotranslatoressen nur während des Ausdehnungsvorgangs Energie aufnehmen. Die Ausdehnung bleibt ohne weitere Energiezufuhr aufrechterhalten. Aufgrund der Kapazität der Piezotranslatoressen sind jedoch bei schnellen Lageänderungen, wie sie im dynamischen Betrieb auftreten, hohe Ausgangsleistungen der Treiberschaltung notwendig. Die entsprechende Steuerelektronik muß 20

daher für jeden Anwendungsfall besondere Eigenschaften haben und optimiert werden, um eine erfolgreiche Applikation eines Piezotranslators zu gewährleisten.

5 Bei Regelprozessen zur dynamischen Piezosteuerung, wo das Stellelement schnellen Änderungen einer Einheitsgröße nachgeführt werden muß, soll der Amplitudenverlauf möglichst gut mit dem Eingangssignal übereinstimmen. Ein solches lineares Übertragungsverhalten kann jedoch nicht bis zu beliebig hohen 10 Frequenzen gewährleistet werden, sondern wird durch die Resonanzfrequenz des Translators bzw. des gesamten Stellsystems einerseits und durch die Ausgangsleistung des Verstärkers andererseits begrenzt.

15 Aufgrund der Hystereseerscheinungen eines Piezotranslators ist die absolute Ausdehnung des Stellelements nur ungenau bestimmbar. Ein solches Verhalten beeinträchtigt solange die Positionierung in einem Stellelement nicht, wie relative Bewegungen ausgeführt werden oder die Positionsänderung sich auf ein 20 externes Meßsignal bezieht. In allen anderen Fällen muß jedoch eine absolute Positionierung erfolgen. Das bedeutet, daß ausgehend von einem definierten Nullpunkt eine definierte Wegstrecke zurückgelegt werden soll. Hierfür ist es bekannt, geschlossene Regelkreise, also ein Meßsystem für die Ausdehnung und eine Regelelektronik, die die Betriebsspannung entsprechend einem Soll-Istwertvergleich steuert, vorzusehen. Geschlossene 25 Positionsregelkreise verfügen daher über einen externen Meßtaster, um die Position bestimmen zu können.

30 Da, wie erwähnt, Piezotranslatoren sich elektrisch als Kondensator beschreiben lassen, auf den für eine Längenänderung elektrische Ladungen aufgebracht bzw. entnommen werden müssen, was beispielsweise über einen Transistorschalter realisiert 35 werden kann, resultiert durch das Laden oder Entladen zwangsläufig Verlustleistung zwischen den Komponenten Piezotranslator einerseits und dem Ladestromkreis andererseits.

Aus dem Abschlußbericht zum Verbundprojekt "Entwicklung leistungsoptimierter, hybrider Hydraulikkomponenten auf der Basis piezoelektrischer Aktuatoren" des Instituts für Fertigungstechnik und spanende Werkzeugmaschinen, Hannover, November 5 1996, ist es bekannt geworden, digitale Steuerverstärker zum Antreiben von piezoelektrischen Aktuatoren aufzubauen, welche über eine geregelte Energierückgewinnung verfügen. Die bekannte Endstufe besitzt vorzugsweise induktiv gekoppelte Spulen, um den Wirkungsgrad der Energierückgewinnung zu erhöhen.

10

Bei der bekannten Schaltungsanordnung sind zwei getrennte magnetische Energiezwischenspeicher vorgesehen, wobei die Zwischenspeicher zur Erzielung einer vorgegebenen Ausgangsspannungskurve der Ansteuerschaltung von einem Regler getaktet zugeschaltet werden. Am Piezotranslator ergibt sich dann eine spannungsabhängige nichtlineare Aufladung der Kapazität, wobei mit Erreichen der Versorgungsspannung der verfügbare Strom nachläßt. Schaltungsbedingt kann durch die Ausführung als zweier getrennter Sperrwandler jeweils nur eine Richtung des Ausgangstroms getrieben werden.

20

Um einen gewünschten linearen Spannungsanstieg am Piezotranslator zu erhalten, muß beim Stand der Technik das Speichervolumen jedes Speichers extrem groß ausgelegt werden. Dies deshalb, da der Sperrwandler nach dem geringsten Spannungsanstieg  $\Delta U$  an den Bereichsenden der Betriebsspannung zu dimensionieren ist. Im mittleren Ausgangsbereich hingegen ist das verfügbare Speichervolumen nicht auslastbar, so daß ein entsprechend realisierter Ausgangsverstärker ineffektiv arbeitet.

25

Bezogen auf die Regelung von Piezotranslatoren bei praktischen Anwendungen wird der tatsächliche Momentanwert der dem Piezotranslator zugeführten Ausgangsspannung mit Hilfe eines Regelkreises bestimmt. Dieser soll vorhandene Unzulänglichkeiten der Ansteuerschaltung respektive der Endstufe, wie deren Nichtlinearität, Temperaturdrift und Frequenzabhängigkeit als auch ein ungewünschtes Verhalten des angeschlossenen Piezotranslators aufgrund der bereits erwähnten Spannungshysterese ausgleichen.

Hierfür ist es bekannt geworden, einen Teil der Piezoausgangsspannung als Istwert auf den Eingang eines Fehlerverstärkers zu geben oder ein exakt arbeitendes mechanisches Meßsystem anzuwenden, welches eine Ausgangsspannung als Führungsgröße liefert. Dem weiteren Eingang des Fehlerverstärkers wird der gewünschte Sollwert zugeführt, wobei der Ausgang des Verstärkers auf die eigentliche Ansteuerschaltung führt.

Das oben beschriebene Reglerkonzept erreicht zufriedenstellende Ergebnisse bei nicht energierückführenden Anordnungen, die meist mit einer konventionell verlustbehafteten Endstufe nach Art gesteuerter Vorwiderstände ausgerüstet sind. Probleme ergeben sich jedoch bei einer entsprechenden Verwendung in energierückspeisenden Ansteuerschaltungen. Ursache sind die dort in Serie zum Piezotranslator eingefügten erheblichen Induktivitäten, die die gewünschte Energierückführung bewirken. Diese bilden mit dem Piezotranslator, der einen Kondensator darstellt, einen Serien- oder Resonanzkreis hoher Güte. Dessen Resonanzfrequenz liegt je nach Bauart oder Baugröße des Translators und eingesetzter Induktivität meist innerhalb des für den Verstärkerbetrieb interessierenden Frequenzbandes im Bereich von 1 bis 5 kHz. Der Serienresonanzkreis wiederum bewirkt eine starke Anhebung der Verstärkung im Resonanzbereich einhergehend mit einer zusätzlichen unerwünschten Phasenverschiebung im Arbeitsband des Regelkreises, so daß diese an die kritische 180°-Grenze heranreicht, wodurch die Kompensation des Regelkreises erschwert ist. Hieraus resultiert ein unerwünschtes Nachschwingen oder eine Selbsterregung. Der gewünschte flache Amplitudengang des Gesamtsystems bis hin zum oberen Arbeitsfrequenzbereich ist demnach nicht mehr erreichbar.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von Piezotranslatoren mit Energierückgewinnung sowie einen verbesserten Regelkreis zum Betreiben von Piezotranslatoren anzugeben, die es gestatten, den Piezotranslator über den gesamten Spannungsbereich nahezu linear aufzuladen und gleichzeitig die Energierückführung bei

geringem Bauvolumen der realisierten Schaltung zu optimieren. Gleichzeitig sollen energierückspeichernde Elemente wie Kondensatoren oder Akkumulatoren mit einer maximalen Piezotranslator-Versorgungsspannung betrieben werden können, so daß die Rückströme dementsprechend gering gehalten werden können.

5 Hinsichtlich des Regelkreises gilt es, Resonanzstellen im Arbeits- und Übertragungsbereich zu vermeiden, so daß eine Selbsterregung wirksam verhinderbar ist.

10 Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einem Gegenstand, wie er im geltenden Patentanspruch 1 sowie hinsichtlich der Regelung in den Ansprüchen 4 und 5 definiert ist.

Die weiteren Unteransprüche stellen mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen oder Weiterbildungen der Erfindung dar.

15 Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, die Ansteuerschaltung zum dynamischen Betreiben von Piezotranslatores als Halbbrückenschaltung mit einer einzigen Serienspule als Energie-Zwischenspeicher auszubilden. In diesem Falle ist der für den Piezotranslator zur Verfügung stehende maximale Lade- und Entladestrom identisch mit dem maximalen Strom der Serienspule. Eine derartige Begrenzung tritt im gesamten Bereich der Piezoausgangsspannung unverändert und bei einem konstanten Grenzstrom auf. In der Kapazität des Piezotranslators bewirkt der konstante Grenzstrom einen konstanten Spannungsanstieg, so daß das Speichervolumen des Energie-Zwischenspeichers im gesamten Arbeitsbereich gleichmäßig und voll ausgelastet ist.

20 Das Bauvolumen läßt sich aufgrund der Verwendung einer einzigen Serienspule reduzieren, wodurch eine Kostensenkung die mittelbare Folge ist.

25

30 Erfindungsgemäß wird also eine gleichstromüberlagerte einzige Spule als Energie-Zwischenspeicher eingesetzt, wobei diese von ihrer Wirkung her als Durchflußwandler zu betrachten ist. Der Spulengleichstrom fließt während der gesamten Aktivierungsperiode und wird von einem hochfrequenten Wechselstrom mit relativ kleiner Amplitude im Arbeitstakt der Halbbrücken, d.h.

der eingesetzten Schalter, mit einer Frequenz von im wesentlichen 100 kHz moduliert.

Mit der erfindungsgemäßen Anordnung eines einzigen induktiven magnetischen Zwischenspeichers im Sekundärkreis, welcher mit dem Piezotranslator in Reihe angeordnet ist und wobei der Sekundärkreis als Halbbrücke aufgebaut wird, gelingt es, den Wirkungsgrad der so ausgebildeten Leistungsendstufe deutlich zu erhöhen. Aufgrund der nicht vorhandenen inneren Potential-

10 trennung ist eine weitere Reduzierung der Verluste möglich.

Auch ansonsten gegebene Nachteile durch Spannungsverluste an Rückspeisedioden treten nicht in vergleichbarem Umfang auf. Ein Übertragen der gesamten im Piezotranslator befindlichen Energie in jeder Modulationsschwingung auf die Primärseite und wieder zurück, wie dies beim Stand der Technik der Fall ist, wird nicht notwendig.

15 Dadurch, daß der einzige Energiespeicher auf der Sekundärseite liegt und mit der hohen Piezospansnung beaufschlagt wird, welche je nach Translatortyp zwischen 200 bis 1200 V liegt, können die während der Energierückführung auftretenden Ströme klein gehalten werden. Der einzige Zwischenspeicher kann schaltungstechnisch räumlich dicht bezogen auf den Piezotranslator angebracht werden, so daß elektromagnetische Störstrahlungen auf ein Minimum reduzierbar sind. Eine weitere verbesserte elektromagnetische Verträglichkeit ergibt sich durch das Verhältnis des Modulationsnutzstroms, dem nur ein geringer hochfrequenter Wechselstrom entsprechend der externen Taktung der Halbbrücken überlagert ist. Durch eine entsprechende Dimensionierung des 20 induktiven Zwischenspeichers liegt der überlagerte Wechselstrom in einer Größenordnung von im wesentlichen 10% des Modulationsstroms, so daß die Restwelligkeit vernachlässigbar ist.

25 Ein weiterer Grundgedanke der Erfindung liegt darin, daß bei der Verwendung von MOSFETs als Schalter negative Auswirkungen von vorhandenen internen Inversdioden vermieden werden können.

Hierfür wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, zur Schaltstrecke eine externe Sperrdiode in Reihe zu schalten und diese Reihenschaltung von einer entgegengesetzt gepolten Kommutierungsdiode zu überbrücken. Diese zusätzliche Diodenkombination verhindert den Inversbetrieb des MOS-Transistors durch dessen interne Inversdiode und ermöglicht einen quasi externen Inversbetrieb durch die zur externen Sperrdiode entgegengesetzt gepolte Kommutierungsdiode.

- 10 Die zusätzlichen Dioden weisen eine bezogen auf den MOS-Transistor kleinere Erholzeit auf, um den Betrieb der derart variierten Halbbrückenschaltung unter dem Schaltfrequenzaspekt zu verbessern.
- 15 Beim erfindungsgemäßen Regelkonzept wird gemäß einem weiteren Grundgedanken der Erfahrung zur Regelung des Piezotranslators im Sekundärkreis ein Stromsensor zur Bestimmung einer dem Ausgangstrom proportionalen Steuerspannung angeordnet. Dieser Stromsensor führt auf den Eingang eines ersten Reglers, wobei der zweite Eingang des ersten Reglers am Ausgang eines zweiten Reglers anliegt, an dessen Eingängen ein vorgegebener Sollwert entsprechend der mechanischen Position des Piezotranslators und die derart rückgeföhrte Spannung im Sekundärkreis anliegt.
- 25 Demnach besteht das Regelkonzept aus zwei ineinander verschachtelten getrennten, nämlich einem inneren und einem äußeren Regelkreis. Der innere Regelkreis umschließt die eigentliche Ansteuerschaltung einschließlich einer möglichen kritischen Resonanzstelle, die durch die dort in irgendeiner Form vorhandenen magnetischen Energiespeicher und die kapazitive Last des Piezotranslators gebildet wird.
- 30 Mit Hilfe des äußeren Regelkreises gelingt es, den durch das Eingangssignal, d.h. den Sollwert der Position festgelegten und am Verstärkerausgang mit verstärkter Amplitude erwarteten Verlauf der Ausgangsspannung zu erzeugen.

Dadurch, daß der innere Regelkreis die Resonanzstelle und die damit verbundene zusätzliche Phasenverschiebung im Arbeits-

frequenzbereich bereits beseitigt hat, kann der äußere Regelkreis in einfacher Weise optimiert werden. Insgesamt ist mit der Auslegung der Schaltungsanordnung zur Regelung ein verbessertes Gesamtübertragungsverhalten gegeben. Der Amplitudengang ist im gesamten Frequenzbereich, auch über die Stelle des kritischen L-C-Kreises hinweg gleichmäßig und fällt ohne Sprungstelle ab. Der Phasengang weist eine Phasenreserve von mindestens  $50^\circ$  auf und ist unkritisch, wobei das Zeitverhalten bei maximaler Systemdynamik resonanz- und überschwingungsfrei gehalten werden kann.

Wie dargelegt, arbeitet der innere Regelkreis unter Rückgriff auf ein stromproportionales Sensorsignal, wobei hierfür ein Stromwandler vorgesehen ist. Dieser Stromwandler kann durch einen einfachen Serienwiderstand in der Rückleitung des Laststroms oder durch eine Transformatorschaltung umgesetzt werden. Der innere Regelkreis erzwingt demnach am Ausgang der Endstufe bzw. Ansteuerschaltung einen in die Last fließenden und in seinem Wert vorbestimmten Strom, der in seinem zeitlichen Verlauf durch den vorgegebenen Sollwert gesteuert werden kann. Möglicherweise weitere zur kapazitiven Piezotranslatorlast geschaltete Verbraucher wirken sich nicht auf den gemeinsamen Laststrom aus.

Da die am Piezotranslator sich aufbauende Spannung, wie bei Kondensatoren üblich, durch das Integral des fließenden Stroms definiert ist, der nunmehr geregelte Strom jedoch keine Resonanzstelle mehr besitzt, kann auch die Piezospnung resonanzfrei gehalten werden. Die zur Energierückführung eingebrachte Zwischenspeicher-Induktivität wird vom Regelverhalten des inneren Regelkreises als resonanzerzeugendes Bauteil nicht mehr wahrgenommen und damit nach außen eliminiert.

In einer Ausführungsform der Erfindung wird gemäß einem weiteren Grundgedanken eine zusätzliche Positionsregelung des Systems vorgenommen, indem ein dritter Regler vorgesehen ist, an dessen ersten Eingang der Sollwert der mechanischen Position des Piezotranslators und an dessen zweiten Eingang ein über

einen Sensor erfaßter, mechanischer Istwert des Piezotranslators anliegt, wobei der Ausgang des dritten Reglers auf einen der Eingänge des vorerwähnten zweiten Reglers führt.

5 Das dynamische Verhalten des Regelkonzepts mit innerem und äußerem Regelkreis kann erfindungsgemäß nach einem weiteren Grundgedanken dadurch verbessert werden, daß der zweite Regler anstelle einer Regelung einer zum Sollwert proportionalen Ausgangsspannung das Integral des Piezotranslator-Stroms rückführt. Diese alternative Rückführung kann frequenzabhängig 10 aktiviert werden.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird bei Frequenzen von im wesentlichen  $> 10\text{Hz}$  auf den Integrationswert zurückgegriffen und bei Frequenzen  $< 10\text{Hz}$  die erwähnte Spannungsrückführung durchgeführt.

Der beschriebene Vorteil der Dynamikerhöhung wirkt sich auch in denjenigen Regelkreisen positiv aus, welche auf eine zusätzliche Positionsregelung mittels eines weiteren Reglers verzichten. Diese Vorteile greifen insbesondere am oberen Ende des 20 Arbeitsfrequenzbereichs, wo die Schleifenverstärkung aus Gründen der Stabilität des Betriebs abnehmen muß und daher für eine effektive Fehlerausregelung zu klein ist. Ein weiterer Vorteil ist, daß bei Rückgriff auf eine Führungsgröße 25 ausgerichtet am Integral des Piezotranslator-Stroms auf teuere Positionsregelkreise verzichtet werden kann.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

30

Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild der Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von Piezotranslatooren mit Energierückgewinnung;

35

Fig. 2 eine Ausgestaltung eines MOSFET-Schalters mit externer Sperr- und hierzu entgegengesetzt gepolter Kommutierungsdiode;

5 Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Regelungskonzepts mit innerem und äußerem Regelkreis enthaltend die fakultative Möglichkeit, den äußeren Regelkreis auf den Integrationswert des Piezotranslator-Stroms auszurichten; und

10 Fig. 4 eine Darstellung des Regelungskonzepts mit zusätzlicher Positionsregelung.

15 Das Prinzipschaltbild gemäß Fig. 1 stellt eine Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von Piezotranslatoen dar.

Wie ersichtlich, ist ein einziger induktiver Zwischenspeicher 1 in Reihe mit dem Piezotranslator 2 angeordnet. Der gezeigte Sekundärkreis stellt eine Halbbrückenanordnung dar, wobei Schalter 3 und 4 extern getaktet werden. Die Schalter 3 und 4 sind von Rückspeisedioden 5 und 6 überbrückt. Derartige Dioden sind bei der Ausbildung der Schalter 3 und 4 als MOSFET integraler Bestandteil dieser.

25 Spannungsquellen 7 und 8 je Halbbrücke werden durch ein an sich bekanntes Schaltnetzteil gebildet und weisen nicht gezeigte Speicherkapazitäten geeigneter Größe auf.

Der fließende Spulengleichstrom wird von einem amplitudenseitig kleinen hochfrequenten Wechselstrom im Arbeitstakt der Halbbrücken mit bis zu 100 kHz überlagert. Der einzige Energiespeicher 1 reduziert in räumlicher Hinsicht das Speichervolumen und arbeitet sowohl bei der Aufladung als auch der Entladung der Kapazität des Piezotranslators 2, d.h. über die volle Betriebszeit.

35

Die Schaltungsverluste gemäß Anordnung nach Ausführungsbeispiel sind bezogen auf den bekannten Stand der Technik wesentlich kleiner. Zur Erzielung einer vorgesehenen linearen Ausgangs-

spannungskurve werden die Schalter 3 und 4 von einem entsprechenden Regler mit hoher Takt- oder Schaltfrequenz aktiviert. Am Piezotranslator 2 stellt sich eine lineare Aufladung von einer Kapazität im gesamten Spannungsbereich von 0 bis maximal 5 UB ein.

Mit Hilfe der Fig. 2 sei eine bevorzugte äußere Beschaltung eines MOS-Transistors bzw. eines MOSFETs zur Verwendung in der Schaltungsanordnung nach Fig. 1 näher erläutert.

10

Schaltungstechnisch bedingt sind in den Endstufen der Halbbrücke nach Fig. 1 die erwähnten Schalter 3 und 4 eingesetzt. Dieses Verbinden des Zwischenspeichers 1 geschieht abwechselnd mit der oberen bzw. der unteren Versorgungsspannung UB/2.

15

Jeweils einer der beiden Schalter 3; 4 ist geschlossen. Aufgrund der Ausführungsform der Schaltungsanordnung treten an den Schaltern 3 und 4 sowohl Ströme mit positivem als auch mit negativem Vorzeichen auf. Beispielsweise fließt zeitweise durch den geschlossenen Schalter ein Strom, welcher den mittleren Strom im Zwischenspeicher 1 erhöht, um eine halbe Modulationsperiode später im Rahmen der Energierückführung als sogenannter Kommutierungsstrom wieder zurückzufließen.

20

In dem Falle, wenn für die Schalter 3 und 4 MOS-Transistoren eingesetzt werden, erfolgt der Stromrückfluß nicht durch das eigentliche aktive Element, sondern durch eine intern vorgesehene parasitäre Inversdiode, die Bestandteil des Transistors ist. Diese Inversdioden benötigen nach einer zeitweiligen Beaufschlagung mit einem Rückstrom eine geraume Erholungszeit, so daß der MOS-Transistor nur sehr verzögert abgeschaltet werden kann. Dieser verhält sich also im Anschluß an eine Beaufschlagung mit einem Rückstrom einige Zeit wie ein volliger Kurzschluß.

25

Demnach würden betriebsbedingt in der zur Energierückspeisung beschriebenen Halbbrücke aus dem Energiespeicher 1 stammende und dort induzierte langanhaltende Rückströme auftreten, die mit der Modulationsfrequenz pulsieren und ohne äußere Maßnahmen

ein Mehrfaches der Periode der angestrebten hohen Taktfrequenz von 100 Hz andauern würden. Fließt ein solcher Strom z.B. durch den Schalter 3 invers in die obere Versorgungsspannung UB/2 hinein und wird anschließend betriebsbedingt der Schalter 3 gesperrt und der Schalter 4 geöffnet, entsteht während der Erholungszeit des Schalters 3 in der gesamten Halbbrücke ein Kurzschluß, da der Schalter 3 nicht sofort öffnen kann. Dies wiederholt sich mit der Folgefrequenz bzw. Taktfrequenz und bewirkt einen wesentlichen Anteil der Verluste innerhalb der Schaltungsanordnung.

Wie Fig. 2 zeigt, werden die MOS-Transistoren durch eine spezielle externe Diodenschaltung verändert. Konkret wird zur Schaltstrecke eine externe Sperrdiode 10 in Reihe geschaltet, wobei diese Reihenschaltung von einer zur externen Sperrdiode 10 entgegengesetzt gepolten Kommutierungsdiode 11 überbrückt ist.

Mit einer derartigen Anordnung kann das Schaltverhalten optimiert und die Verlustleistung der Schaltungsanordnung insgesamt verringert werden.

Beim Regelkonzept nach Fig. 3 wird von einem inneren Stromregelkreis kombiniert mit einem äußeren Spannungsregelkreis ausgegangen. Der äußere Spannungsregelkreis kann auch so ausgeführt werden, daß anstelle einer Regelung einer zum Sollwert proportionalen Ausgangsspannung das Integral des Piezotranslator-Stroms erfaßt und rückgeführt wird. Auf diese Alternative kann frequenzabhängig, beispielsweise bei  $f > 10$  Hz zurückgegriffen werden, so daß sich das dynamische Verhalten eines entsprechendes Regelkreises für einen Piezotranslator verbessert.

Zur Regelung des Piezotranslators 2 ist gemäß Fig. 3 im Sekundärkreis ein Stromsensor 12 vorgesehen, welcher eine dem Ausgangsstrom proportionale Steuerspannung erzeugt. Dieser Stromsensor 12 führt auf einen ersten Eingang eines ersten Reglers 13, wobei der zweite Eingang des ersten Reglers 13 am Ausgang

eines zweiten Reglers 14, ggfs. unter Zwischenschaltung eines Verstärkers und eines Filters 15 und 16 anliegt. Am Eingang des zweiten Reglers 14 liegt einerseits ein vorgegebener Sollwert entsprechend der mechanischen Position des Piezotranslators und andererseits die rückgeführte Spannung des Sekundärkreises bzw. das Integral des Piezotranslator-Stroms an.

Die über ein Filter 17 vom Ausgang des ersten Reglers 13 ange-  
steuerte Endstufe 18 kann der Schaltungsanordnung zur Ansteue-  
rung nach Fig. 1 entsprechen, jedoch auch durch zwei Sperr-  
wandler nach dem Stand der Technik gebildet werden. Der durch  
den Stromsensor 12 und den ersten Regler 13 gebildete innere  
Regelkreis umschließt die Endstufe 18 einschließlich einer  
möglichen kritischen Resonanzstelle, die durch vorhandene  
magnetische Energiespeicher und die kapazitive Last des Piezo-  
translators 2 gebildet wird. Um das Eingangssignal, d.h. den  
durch den Sollwert der Position festgelegten und am Verstär-  
kerausgang mit verstärkter Amplitude erwarteten Verlauf der  
Ausgangsspannung zu erzeugen, ist der äußere Regelkreis aus  
zweitem Regler 14 mit Spannungsrückführung und/oder Rückführung  
des Integrals des Piezotranslator-Strom vorgesehen.

Die Ausführungsform nach Fig. 4 stellt eine zusätzliche Posi-  
tionsregelung dar, wobei hinsichtlich des inneren und äußeren  
Regelkreises auf die Erläuterungen zur Fig. 4 verwiesen wird.  
Gleiche Elemente wurden mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Zur Positionsregelung ist ein dritter Regler 19 vorgesehen, an  
dessen erstem Eingang der Sollwert der mechanischen Position  
30 des Piezotranslators 12 und an dessen zweitem Eingang ein über  
einen Sensor 20 erfaßter mechanischer Istwert des Piezotrans-  
lators 12 anliegt. Der Ausgang des dritten Reglers 19 ist auf  
einen entsprechenden Eingang des zweiten Reglers 14 ggfs. unter  
Zwischenschaltung einer Verstärker-Filter-Kombination 21 ge-  
führt.

Alles in allem gelingt es mit der erfindungsgemäßen Schal-  
tungsanordnung sowie dem vorgeschlagenen Regelungskonzept,

Piezotranslatoren als elektrische Stellelemente exakt und mit geringem schaltungstechnischen Aufwand anzusteuern, wobei gleichzeitig eine Optimierung der Energierückführung möglich wird. Durch den Aufbau des Regelkreises mit oder ohne zusätzliche Positionsregelung können Auswirkungen unerwünschter Resonanzstellen und damit Instabilitäten im Verhalten des Reglers vermieden werden.

10 Bezugszeichenaufstellung

|            |                               |
|------------|-------------------------------|
| 1          | Zwischenspeicher              |
| ✓2         | Piezotranslator               |
| 3, 4       | Schalter                      |
| 5, 6       | Rückspeisedioden              |
| 7, 8       | Spannungsquellen UB/2         |
| 9          | MOSFETs                       |
| 10         | externe Sperrdiode            |
| 11         | Kommutierungsdiode            |
| 20         | Stromsensor                   |
| 13         | erster Regler                 |
| 14         | zweiter Regler                |
| 15         | Verstärker                    |
| 16, 17, 22 | Filter                        |
| 18         | Endstufe                      |
| 19         | dritter Regler                |
| 20         | Sensor                        |
| 21         | Verstärker-Filter-Kombination |

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von Piezotranslatooren mit Energierückgewinnung durch magnetische Zwischenspeicher und Speicher kondensatoren sowie getaktete Schalter. Erfindungsgemäß ist ein einziger induktiver Zwischenspeicher im Sekundärkreis mit dem Piezotranslator in Reihe angeordnet und der Sekundärkreis als Halbbrücke ausgebildet. Die in der jeweiligen Halbbrücke vorgeesehenen Schalter zur Erzielung eines vorgegebenen linearen Spannungsverlaufs am Piezotranslator werden mit hoher Takt- oder Schaltfrequenz von einem externen Regler angesteuert, wobei weiterhin die Reihenschaltung von Piezotranslator und induktivem Zwischenspeicher von einem überlagerten Brückengleichstrom durchflossen wird, um einerseits die gewünschte Aufladung der Kapazität des Piezotranslators zu gewährleisten und andererseits die Energierückgewinnung zu optimieren.

## Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zur dynamischen Ansteuerung von Piezotranslatoen mit Energierückgewinnung durch magnetische Zwischenspeicher und Speicher kondensatoren sowie mit getakteten Schaltern,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
ein einziger induktiver Zwischenspeicher (1) im Sekundärkreis mit dem Piezotranslator (2) in Reihe angeordnet und der Sekundärkreis als Halbbrücke ausgebildet ist, wobei die in der jeweiligen Halbbrücke vorgesehenen Schalter (3, 4) zur Erzielung eines vorgegebenen linearen Spannungsverlaufs am Piezotranslator (2) mit hoher Takt- oder Schaltfrequenz extern angesteuert und betrieben werden und wobei weiterhin die Reihenschaltung von Piezotranslator (2) und induktivem Zwischenspeicher (1) von einem überlagerten Brückengleichstrom durchflossen ist.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
die Schalter (3, 4) als MOS-Transistoren (9) ausgebildet sind, wobei zur Schaltstrecke eine externe Sperrdiode (10) in Reihe angeordnet und diese Reihenschaltung von einer zur externen Sperrdiode (10) entgegengesetzt gepolten Kommutierungsdiode (11) überbrückt ist.
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der Zwischenspeicher (1) baulich dicht am Piezotranslator (2) angeordnet ist.
4. Schaltungsanordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
zur Regelung des Piezotranslators (2) im Sekundärkreis ein Stromsensor (12) zur Bestimmung einer dem Ausgangstrom

- 2 - M 18.08.88

proportionalen Steuerspannung angeordnet ist, welche auf einen ersten Eingang eines ersten Reglers (13) führt, wobei der zweite Eingang des ersten Reglers (13) am Ausgang eines zweiten Reglers (14) anliegt, an dessen Eingängen ein vorgegebener Sollwert entsprechend der mechanischen Position des Piezotranslators (2) und die derart rückgeführte Spannung im Sekundärkreis anliegt.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
zur Positionsregelung ein dritter Regler (19) vorgesehen ist,  
daß dessen erstem Eingang der Sollwert der mechanischen  
Position des Piezotranslators (2) und an dessen zweitem Eingang  
ein über einen Sensor (20) erfaßter mechanischer Istwert des  
Piezotranslators (2) anliegt und der Ausgang des dritten  
Reglers (19) auf einen der Eingänge des zweiten Reglers (14)  
führt.

6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens der Regelung der  
zweite Regler (14) anstelle einer Regelung einer zum Sollwert  
proportionalen Ausgangsspannung das Integral des Piezo-  
translator-Stroms rückführt.

M 18.06.99

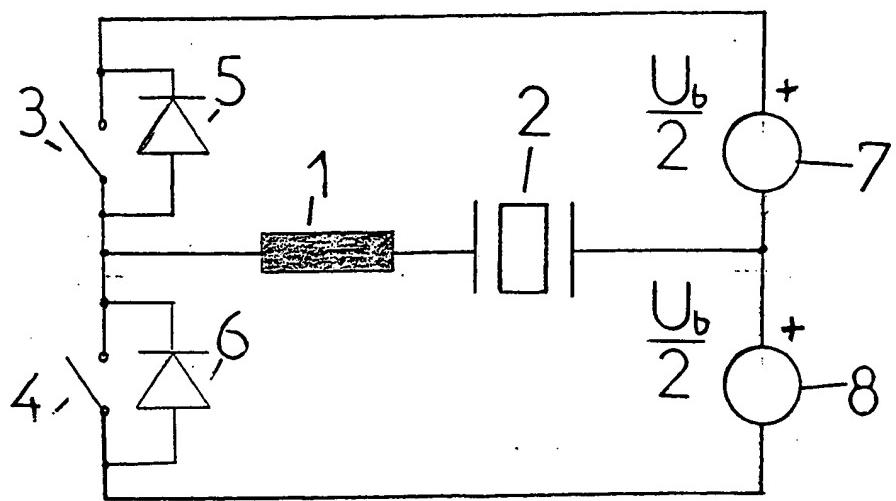


Fig.1

M 18-06-99

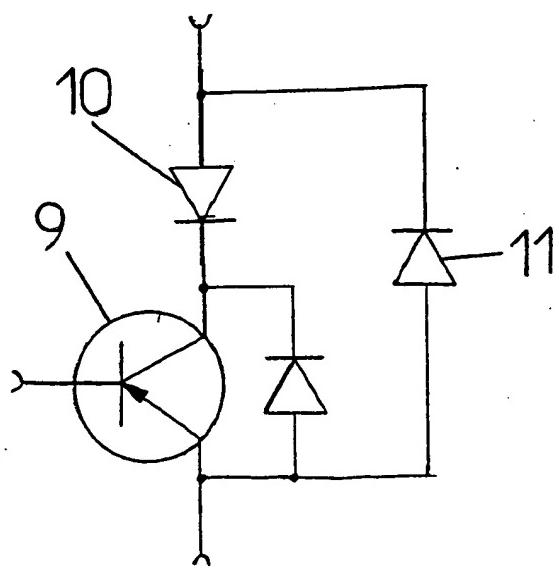


Fig.2

M 13.06.99

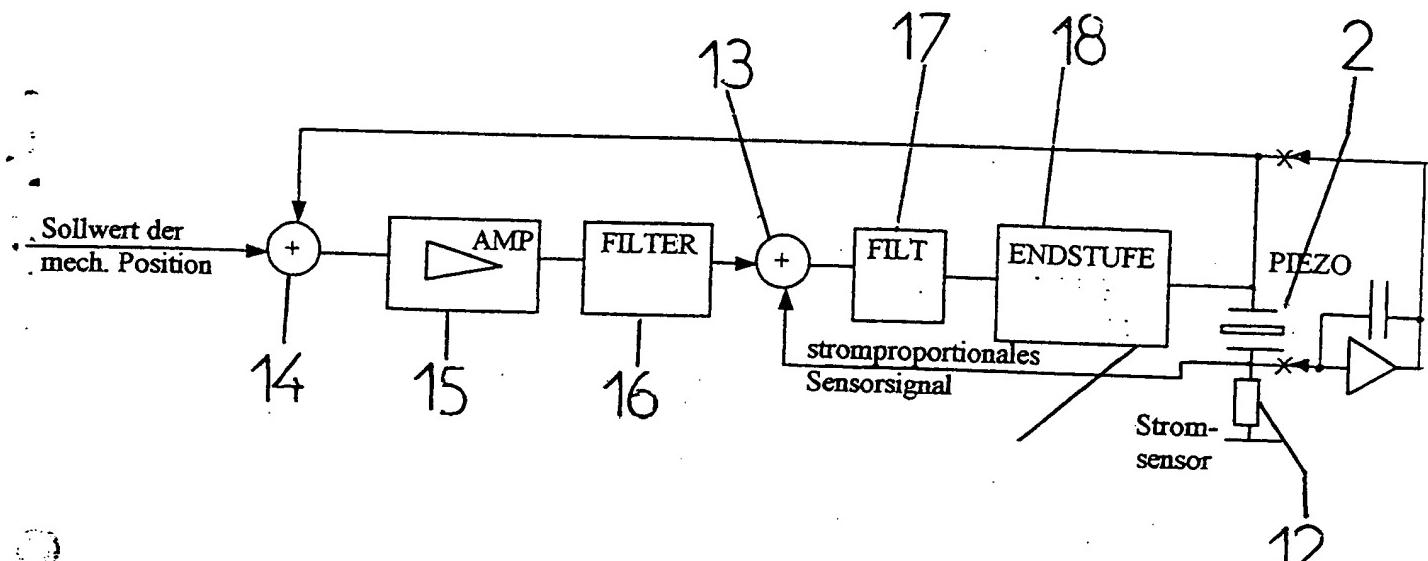


Fig.3

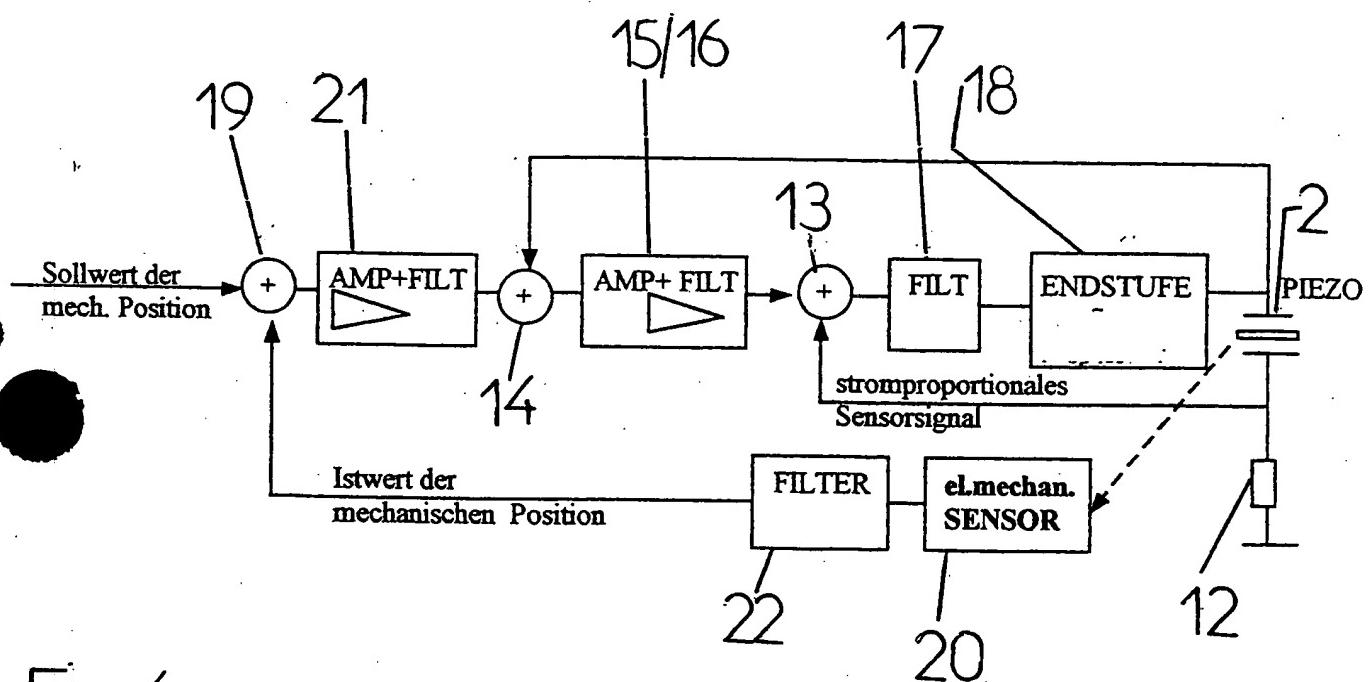


Fig.4